

PRIMENA OPERATIVNOG SISTEMA ZA RAD U REALNOM VREMENU U INTERNETU STVARI**APPLICATION OF REAL TIME OPERATING SYSTEM IN THE INTERNET OF THINGS**Đorđe Novaković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MERNO-INFORAMCIONI SISTEMI**

Kratak sadržaj – U ovom radu realizovana je aplikacija koja prati očitavanja sa senzora i prikazuje ih na internet stranici. Senzori očitavaju temperaturu, prisustvo dima, osvetljenje i pritisak i vlažnosti vazduha. U projektu FreeRTOS operativni sistem omogućava organizaciju i upravljanje resursima, kao i sinhronizaciju i komunikaciju između različitih delova softvera.

Ključne reči: FREERTOS, IoT, STM32

Abstract – In this paper an application has been developed to monitor sensor readings and display them on a website. The sensors monitor temperature, smoke ambient light, pressure, and air humidity. In the project, the FreeRTOS operating system enables the organization and management of resources, as well as synchronization and communication between different software components..

Keywords: FREERTOS, IoT, STM32

1. UVOD

Ideja za projekat je nastala na osnovnim studijama kada se u okviru diplomskog rada dizajnirala štampana ploča za kontrolu robota i povezivanje pripadajućih senzora. Osnovna ideja je da robot prikuplja podatke sa senzora i da se samostalno kreće po prostoru, a da prikupljene podatke šalje na internet stranicu povezanu sa pridruženom bazom podataka. Robot bi prikupljao vrednosti sobne temperature, pa bi korisnik po potrebi preko aplikacije, mogao da kontrolom klima uređaja vrši regulaciju temperature. Takođe, zamišljeno je da se meri jačina osvetljenja u prostoriji kao i prisutnost gasa u slučaju curenja iz cevi ili detekciju požara u kući. Tema master rada je da se takva ideja realizuje i da se jedan deo sistema realizuje. Deo koji je urađen jeste očitavanje vrednosti sa senzora i njihov prikaz na internet stranici. Za senzore temperature, vlažnosti, pritiska i osvetljenja su upotrebljene *click* pločice koje se direktno stavljaju na ploču za proširenje. Projekat je realizovan u C programskom jeziku primenom FreeRTOS operativnog sistema. U projektu je korišten *DISCOVERY* F407 razvojni sistem sa pločom za proširenje.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Novaković

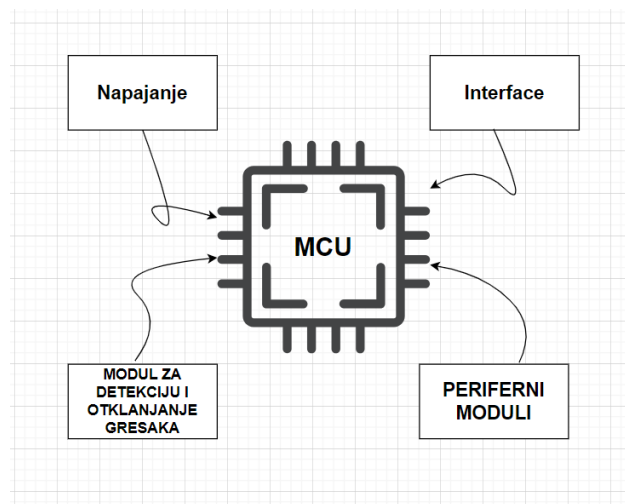
Za senzorske module korišteni su *Ambient click*, *Weather click*, *Wi-Fi (Wireless Fidelity) click* i MQ-135 senzor prisustva dima.

U drugoj sekciji biće opisan *hardware*-a razvojnog sistema kao i pojedinačni moduli.

U četvrtoj sekciji pojašnjeno je korišćenje i uloga FreeRTOS operativnog sistema u projektu. U petoj sekciji predstavljeno je okruženje u kome se prikupljaju podaci kao i neke karakteristike koje pruža samo okruženje.

2. HARDWARE

Razvojna ploča je *DISCOVERY* board F407 i glavne komponente razvojne ploče prikazane su na slici 1.



Slika 1. Blok šema *DISCOVERY* F407 ploče

2.1. Mikrokontroler

Glavna komponenta razvojnog sistema je STM32F407VG mikrokontroler. Pored mikrokontrolera, na ploči se mogu pronaći i oscilator koji generiše spoljašnji takt signal za mikrokontroler, kao i regulatori napona (LD3985M25R i LD3985M33R) za obezbeđivanje stabilnog napajanja neophodnih za pravilno funkcionisanje mikrokontrolera uz *decoupling* kondenzatore koji služe kao dodatni filteri visokofrekventnih smetnji.

2.2. Periferni moduli

Na razvojnoj ploči se nalazi digitalni akcelerometar koji omogućava detekciju pokreta za sve tri ose (x,y,z). Pored

toga, ploča ima ugrađen digitalni mikrofoni koji omogućava snimanje zvuka, što je korisno za aplikacije kao što su prepoznavanje govora i audio snimanje. Takođe, ploča ima *Audio DAC (Digital to Analog converter)* sa integrisanim pojačavačem u klasi D, što omogućava reprodukciju zvuka visokog kvaliteta.

2.3. Napajanje

Koriste se čipovi za regulaciju napona i upravljanje napajanjem. Pošto različite periferije zahtevaju različite napone napajanja postoje komponente koje zahtevaju 2,5 V i 3 V i iz tih razloga postoje dva regulatora koji prilagođavaju napon 5 V jer se ploča napaja sa USB-a (*Universal Serial Bus*) računara.

2.4. Interfejsi

Mikrokontroler poseduje USB OTG (*On-The-Go*) čip i moguće je vršiti komunikaciju preko USB-a. Jedan od nedostataka razvojnog sistema je nepostojanje FT232 čipa kako bi se mogla vršiti komunikacija sa računarom preko UART-a (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) koja se zbog svoje jednostavnosti najčešće koristi za komunikaciju sa računarom. Zbog toga se koristi dodatna ploča na kojoj postoji FT232 čip i CAN (*Controller Area Network*) prijemnik, ako postoji potreba da se koristi takva komunikacija. Na slici 2. je prikazana ploča za proširenje koja omogućuje povezivanje senzora i ima pomenute konektore.



Slika 1. Ploča za proširenje

2.5. Otklanjanje grešaka

Ovaj sistem sadrži na sebi programator i *debugger* pomoću kojeg se može vršiti reprogramiranje mikrokontrolera kao i vršenje softverskog *debugging*-a samog sistema.

3. SENZORI

Za senzore temperature, vlažnosti, pritiska i osvetljenja su upotrebljene *click* pločice koje se direktno stavljaju na ploču za proširenje prikazanoj na slici 2. *Click* pločice predstavljaju standardizovano rešenje gde se senzori povezuju preko 16 pinova sa mikrokontrolerom posredstvom odgovarajućih konektora. Ovo omogućuje dodatnu fleksibilnost u razvijanju prototipa i povezivanju sa razvojnim sistemom jer se senzori mogu po potrebi menjati, a da se pri tome ne menja hardver sistema.

3.1 MQ-135

Na slici 3. prikazan je MQ-135 gasni senzor koji se koristi za detekciju različitih štetnih gasova u vazduhu, kao što su amonijak, dim, alkohol i druge supstance. Ovaj senzor je široko korišćen u raznim aplikacijama, uključujući merenje kvaliteta vazduha, bezbednost u domaćinstvu, kao i kontrolu industrijskih procesa.



Slika 3. MQ-135 gasni senzor

3.1.1 Princip rada

MQ-135 senzor koristi princip hemijske apsorpcije gasa kako bi se detektovalo prisustvo ciljanih gasova u vazduhu. U osnovi, senzor se sastoji od keramičkog elementa koji reaguje sa ciljanim gasom, izazivajući promenu u električnom otporu senzora.

Promene u električnom otporu proporcionalne su koncentraciji gasa u vazduhu, što omogućava senzoru da detektuje prisustvo gasa i pruži odgovarajući izlazni signal.

3.2 Weather click

Na slici 4. prikazan je *Weather click* senzorski modul koji omogućava precizno merenje različitih meteoroloških parametara. Modul sadrži senzor za merenje temperature, vlažnosti i pritiska vazduha. Glavni komponenta koja se nalazi na pločici i koji meri sva tri parametra je senzorski čip BME280.



Slika 4. Weather click

3.2.1 Princip rada

1. Mrenje temperature

Temperatura se meri korišćenjem termistora. Termistor je elektronski uređaj čija električna otpornost varira sa promenom temperature. Termistor u BME280 senzoru se zagreva na temperaturu okoline, a zatim se meri promena električne otpornosti kako bi se odredila temperatura.

2. Merenje vlažnosti

Merenje vlažnosti vazduha se obično vrši korišćenjem senzora vlažnosti koji koristi princip apsorpcije vlage koji utiče na promenu kapacitivnosti kapacitivnosti, što je i realizovano u BME280 senzoru. Ovaj senzor ima dielektrični materijal koji apsorbuje vlagu iz okoline, čime se menja kapacitivnost senzora. Promena kapacitivnosti se zatim meri i pretvara u digitalni signal koji predstavlja relativnu vlažnost vazduha.

3. Merenje pritiska

Merenje vazdušnog pritiska se obično vrši korišćenjem senzora pritiska ili piezoelektričnog senzora tako što se njihove karakteristične vrednosti menjaju u zavisnosti od promene vazdušnog pritiska. BME280 senzor koristi piezoelektrični senzor pritiska, gde se promene u pritisku vazduha prenose na kristal koji generiše električni signal proporcionalan pritisku. Signal se zatim meri i pretvara u digitalni signal koji se može koristiti za određivanje atmosferskog pritiska.

3.3 Ambient click

Ambient 2 Click sa slike 5. je senzorska pločica koja se koristi za merenje ambijentalnog svetla. Na pločici se nalazi OPT3001 digitalni senzor jačine ambijentalnog osvetljenja.



Slika 5. Ambient 2 click

3.3.1 Princip rada

Ambient 2. OPT3001 meri nivo jačine ambijentalnog osvetljenja koristeći princip konverzije svetlosti u električni signal. Senzor poseduje fotodiodu koja apsorbuje svetlost iz okoline. Kada svetlost padne na fotodiodu, ona generiše struju proporcionalnu intenzitetu svetla. Generisani električni signal se zatim pretvara u digitalni signal unutar senzora. OPT3001 koristi integrisani analogni-digitalni konvertor. Digitalni signal se zatim obrađuje kako bi se dobio precizan podatak o nivou jačine ambijentalnog osvetljenja. Senzor ima ugrađene funkcije obrade signala koje omogućavaju precizno merenje osvetljenosti. Na osnovu digitalno obrađenog signala, senzor izračunava vrednost jačine osvetljenosti u luksima.

3.4 Wi Fi click

Wi-Fi ESP Click (slika 6.) je pločica koja pruža bežični prenos podataka. Ova pločica sadrži ESP- WROOM-02

potpuno integrisani Wi-Fi modul. Pruža bežičnu komunikaciju preko štampane antene u frekvencijskom opsegu od 2,4 GHz (802.11b/g/n). Modul podržava TCP (*Transmission Control Protocol*), UDP (*User Datagram Protocol*), HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) i FTP (*File Transfer Protocol*) mrežne protokole.



Slika 6. Wi fi click

3.4.1 Princip rada

Wi-Fi ESP Click radi na principu bežične komunikacije putem Wi-Fi mreže. Kada je Wi-Fi ESP click aktiviran sistem prenosi informacije koristeći frekvenciju od 2,4 GHz. Kada se Wi-Fi ESP click koristi kao pristupna tačka (*softAP* režim), on emituje Wi-Fi signal koji drugi uređaji mogu detektovati i povezati se sa njim. Kada se koristi kao Wi-Fi stanica, ESP-WROOM-02 se povezuje sa postojećom Wi-Fi mrežom kako bi omogućio pristup internetu ili lokalnoj mreži. Fizički sloj Wi-Fi komunikacije koristi radio frekvencijske signale za prenos podataka. Komunikacija sa čipom se odvija pomoću AT komandi koje se šalju putem UART-a. AT komande su naredbe koje se koriste za kontrolu i konfiguraciju uređaja koji podržavaju serijsku komunikaciju preko UART interfejsa.

Komande su standardizovane i često se koriste za upravljanje i konfiguraciju različitih uređaja kao što su Wi-Fi moduli, Bluetooth uređaji, i slično. U tabeli 1. prikazane su korišćene AT komande.

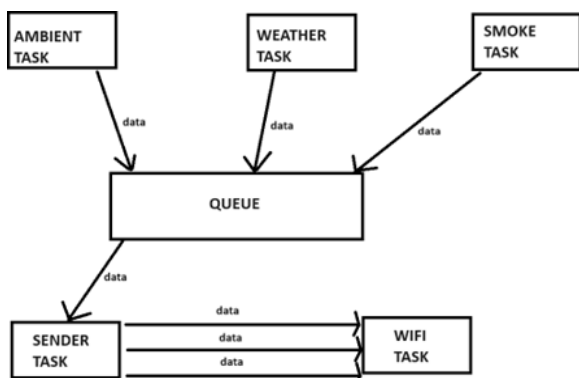
Tabela 1. AT komande

Komande	Opis njene uloge
AT+CIPSTART	Komanda se koristi za uspostavljanje TCP ili UDP veze sa udaljenim serverom ili uređajem
AT+CWMODE	Komanda se koristi za postavljanje režima rada Wi-Fi modula
AT+CWJAP	Komanda se koristi za povezivanje na Wi-Fi mrežu
AT+RST	Komanda se koristi za restartovanje Wi-Fi modula

4. ULOGA FREERTOS-A U APLIKACIJI

Ideja je da tri nezavisna zadatka očitavaju senzore i posredstvom zajedničkog reda upisuju očitane podatke tj. da prosleđuju podatke zadatku koji dalje prosleđuje podatke (*sender task*). *Sender task* prikupljene podatke iz tri nezavisna zadatka prosleđuje preko UART-a ka računaru koji će podatke ispisivati u konzolu i ukoliko se dogodi greška na sreverskoj strani, da korisnik može brzo utvrditi da mikrokontrolerski sistem ispravno radi. Dva zadatka očitavaju dva senzora koja komuniciraju preko I2C (Inter-Integrated Circuit), oni pristupaju istom resursu. Stoga je potrebno da se obezbedi da u istom trenutku ne pristupaju I2C-u jer bi moglo doći do kolizije i zbog toga je uveden *Mutex.Red* koji je napravljen ima pet elementa i njegova veličina je struktura koja opisuje senzore.

Tajmer se koristi da omogućimo da se u ravnomernim periodima očitavaju podaci. Prilikom korišćenja *osDelay* može da dođe do vremenskog smicanja a sa *timer*-om se oslobađa pet semafora u istom trenutku ako svih pet čekaju na semafor u istom trenutku dobijaju semafor i vremenski su poravnati.



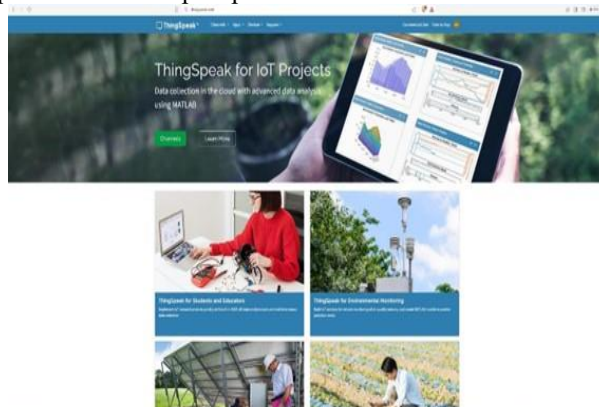
Slika 6. Blok šema FreeRTOS implementacije

Blok šema (slika 6.) predstavlja grafički prikaz implementirane FreeRTOS logike. Tri zadatka koji očitavaju vrednosti sa senzora pristupaju redu i upisuju podatke u njega. Zatim *sender task* kupi te podatke ispisuje ih putem UART-a i smešta očitane vrednosti u *buffer* i podaci se dalje šalju na sajt preko Wi-Fi *task*-a.

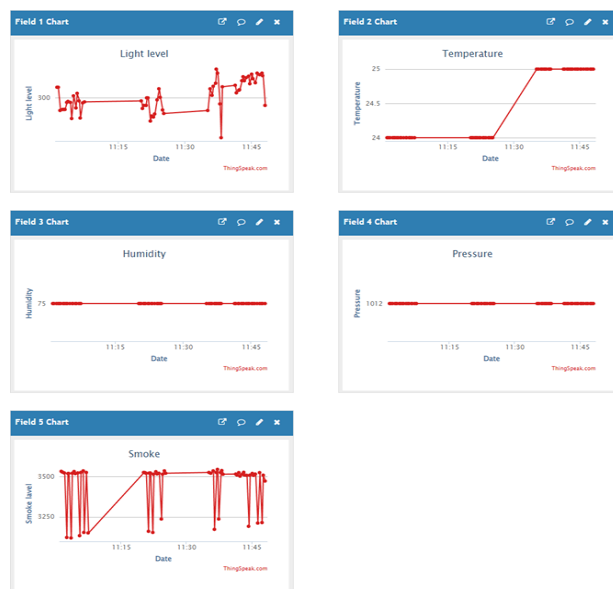
5. THINGSPEAK

ThingSpeak (slika 7.) je platforma koja pruža niz alata i funkcija prilagođenih potrebama za IoT (*Internet of Things*). U osnovi, implementirano je korisničko okruženje za prikupljanje, analizu i vizualizaciju podataka sa različitih IoT uređaja i senzora. *ThingSpeak* nudi alate za vizualizaciju podataka koji omogućavaju korisnicima da kreiraju grafikone, dijagrame i mape na osnovu podataka prikupljenih sa senzora. Pored vizualizacije podataka, sajt poseduje mogućnost analize podataka, omogućavajući korisnicima da se bave naprednom analitikom i da imaju značajne uvide u podatke koji se šalju na sajt. Na slici 7. dat je prikaz *ThingSpeak* okruženja, a na slici 8. je prikazano okruženje sa podacima koji se šalju sa mikrokontrolera. Takođe, na slici 8. prikazane su očitane vrednosti temperature, vlažnosti, pritiska, osvetljenja i prisutnosti dima. Podaci su očitavani na svakih petnaest sekundi jer *ThingSpeak* dolazi u besplatnoj verziji ali uz odgovarajuća ograničenja. Upravo jedno od ograničenja je

nemogućnost slanja više od jednog zahteva za upis na 15 s. Zbog toga se prilikom slanja podataka na *ThingSpeak*, podaci sa svih senzora objedinjuju u jedan zahtev i kao takvi se šalju u ekvidistantnim vremenskim intervalima. Korisnici se mogu po potrebi pretplatiti i na taj način povećati brzinu upisa podataka na *cloud*.



Slika 7. *ThingSpeak* sajt



Slika 8. *ThingSpeak* sajt sa graficima očitanih podataka

6. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen projekat koji se bavi razvojem sistema za praćenje i kontrolu okoline koristeći senzore i slanjem podataka na *cloud*. Projekat uključuje integraciju različitih senzora za merenje temperature, vlažnosti, pritiska, osvetljenja i prisustva dima, sa mikrokontrolerom STM32 (*STMicroelectronics 32-bit ARM-based Microcontroller*) i upotrebom različitih komunikacionih protokola i interfejsa kao što su UART, I2C, TCP itd. Takođe, u projektu je korišćen operativni sistem za rad u realnom vremenu FreeRTOS. Detaljno su razmatrane implementacije funkcija u programskom kodu, kao i tehnike komunikacije, uključujući korišćenje AT komandi za komunikaciju sa Wi-Fi modulom ESP8266. Projekat ima za cilj kreiranje kompleksnog sistema koji omogućava nadzor okoline, prikupljanje podataka sa senzora, njihovo procesiranje i prenošenje putem interneta, sa mogućnošću

daljinskog upravljanja i praćenja podataka na internetu.

Dalji pravci razvoja mogu biti implementacija dela koji kontroliše kretanje robota. Robot može da se kreće na dva točka, gde bi implementirani algoritam za upravljanje mogao biti realizovan PID (*Proportional-Integral-Derivative*) kontrolerom, kako bi sam robot izgledao atraktivnije kada bi se plasirao na tržište. Trebalo bi dizajnirati mehaničke delove zatim projektovati i izraditi PCB (*Printed Circuit Board*) sa akcentom na minimizaciju same pločice. Potrebno je odabrati motore i baterije kako bi se oni uklopili u odgovarajuću težinu da bi robot bio funkcionalan, a sa druge strane da bude dovoljno dugo autonoman i da može samostalno raditi bez punjenja. Dalji razvoj takođe može biti usmeren da se postojeća aplikacija integriše sa *hardware*-om autonomnog usisivača gde bi se mogli pratiti parametri okoline.

7. LITERATURA

- [1] Richard Barry., "Mastering the FreeRTOS™ Real Time Kernel"
- [2] Steve Oualline, "Practical C Programming"
- [3] Samuel A. Rebelsky, "A Practical Introduction to C Programming Language"
- [4] Greg Perry, "C Programming Absolute Beginner's Guide"
- [5] Stephen G. Kochan, "Programming in C"
- [6] Warren Gay, "Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel on STM32 microcontrollers: A Practical Guide"
- [7] Joseph Yiu, "The Definitive Guide to ARM® Cortex®-M3 and Cortex®-M4 Processors"
- [8] Robert Ward, "Beginning STM32: Developing with FreeRTOS, libopencm3 and GCC"
- [9] Samuel W. Lam, "STM32 Arm Programming for Embedded Systems: Volume 6"

Kratka biografija:



Đorđe Novaković rođen je u Novom Sadu 1998. godine. Master rad na Fakultetu Merno-informacioni sistemi odbranio je 2024. godine.

kontakt: djordjenovakovic36@gmail.com